

17. Smith, G. Generation of an effective internal carbon source for denitrification through hydrolysis of pre-precipitated sludge [Text] / G. Smith, J. Goransson // Water Science and Technology. – 1992. – Vol. 25, Issue 4-5. – P. 211–218.
18. Пименов, И. В. Влияние некоторых факторов на биологическое окисление аммонийного азота в сточных водах [Текст] / И. В. Пименов, Т. В. Валеева, Г. Е. Юровских и др. // Кокс и химия. – 1990. – № 3. – С. 47–48.
19. Васильев, Б. В. Технология биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации [Текст] / Б. В. Васильев, Б. Г. Мишуков, И. И. Иваненко и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 5, Ч. 1. – С. 22–25.
20. Душкин, С. С. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод [Текст]: монография / С. С. Душкин, А. Н. Коваленко, М. В. Дегтярь, Т. А. Шевченко. – Х.: ХНАГХ, 2011. – 146 с.

*Надано порівнювальну оцінку сучасним фізико-хімічним методам для виявлення в дизельному паливі ароматичних вуглеводнів. Проведено якісний і кількісний аналіз дизельного палива та його окремих фракцій методами мас-спектрометрії, ультрафіолетової спектроскопії, газорідинної хроматографії та рідинної колоночної хроматографії. Комплекс методів і системний підхід у дослідженні складних сумішей дозволив збільшити надійність і достовірність отриманих результатів*

*Ключові слова: дизельне паливо, компонентний склад, мас-спектрометрія, УФ-спектроскопія, газорідинна хроматографія, рідинна колоночна хроматографія*

*Дана сравнительная оценка современным физико-химическим методам для определения в дизельном топливе ароматических углеводородов. Проведен качественный и количественный анализ дизельного топлива и его отдельных фракций методами масс-спектрометрии, ультрафиолетовой спектроскопии, газожидкостной хроматографии и жидкостной колоночной хроматографии. Комплекс методов и системный подход в исследовании сложных смесей позволил увеличить надежность и достоверность полученных результатов*

*Ключевые слова: дизельное топливо, компонентный состав, масс-спектрометрия, УФ-спектроскопия, газожидкостная хроматография, жидкостная колоночная хроматография*

УДК 543.51:543.544

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51616

# ВИЗНАЧЕННЯ АРОМАТИЧНИХ ВУГЛЕВОДНІВ В НАФТО- ПРОДУКТАХ

Н. В. Аміруллоєва

Кандидат хімічних наук, доцент  
Кафедра хіміїДВНЗ «Придніпровська державна  
академія будівництва та архітектури»  
вул. Чернишевського, 24 А,  
м. Дніпропетровськ, Україна, 49005  
E-mail: namirulloeva@ukr.net

## 1. Вступ

Основним завданням нафтопереробної промисловості є підвищення якості моторних палив нарівні з поліпшенням їх екологічних властивостей. Фракційний склад вуглеводнів дизельного палива необхідно знати з різних причин.

По-перше, для оцінки впливу викидів на навколишнє середовище. Так, у ряді випадків при збільшенні вмісту ароматичних вуглеводнів в паливах для двигунів внутрішнього згорання зростає кількість бензапірену, канцерогенні властивості якого досить добре відомі [1, 2]. З цієї причини вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів законодавчі акти ряду зарубіжних країн лімітують до рівня 6–11 %.

По-друге, для вибору раціональних шляхів використання прямогонних фракцій нафти, які є основою для виробництва дизельних і реактивних палив.

По-третє, для оцінки експлуатаційних характеристик дизельного палива та для вирішення питань оптимального введення в них присадок різного призначення.

Розробка методик дослідження нафти та нафтопродуктів, їх аналіз на сьогоднішній день не втрачає

своєї актуальності. Найбільш затребувані такі методи при проведенні досліджень нафтових забруднень в екологічній експертизі та безпосередньо при визначенні впливу складу дизельного палива на його експлуатаційні властивості.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Знання хімічного і фракційного складу нафти необхідно для вибору найбільш оптимальних напрямів процесів нафтопереробки, а також вирішення завдань, пов'язаних з екологією.

Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) утворюються в процесі неповного згорання палива. Велика частка ПАВ утворюється в температурному діапазоні 300–500 °С, що відповідає приблизно температурі згорання палива в двигуні [3, 4]. Високі темпи розвитку індустріалізації різко підвищили вміст ПАВ в атмосфері, хоча в останні роки була помічена тенденція до зменшення викидів ПАВ в атмосферу за рахунок поліпшення якості палива [5, 6]. Основні джерела ПАВ – двигуни внутрішнього згорання, викиди авіаційного палива і тютюновий дим [7–9]. Будь-який процес горіння підвищує

концентрацію ПАВ в об'єктах довкілля. ПАВ є стійкими сполуками через наявність в структурі поліядерними ароматичної структури, погану розчинність у воді, а також сповільнену мікробіологічну трансформацію. Небезпека для людини полягає в тому, що деякі представники цього класу сполук мають канцерогенний вплив на організм, а також володіють мутагенною, тератогенною і біостимуляторною активністю [10].

Серед методів дослідження компонентів нафти і нафтопродуктів одним з найцікавіших є метод флуоресцентної спектроскопії [11]. З усього розмаїття речовин, що містяться в нафті і нафтопродуктах, він дозволяє визначати ароматичні сполуки та ПАВ. Для попереднього розділення нафтопродуктів використовується метод рідинної колоночної хроматографії [12]. Методом кількісного визначення ПАВ є газова (ГХ) та високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ) із спектрофлуориметричним детектуванням [13, 14]. Даний метод широко застосовується в екологічній експертизі при визначенні вмісту ПАВ в різних об'єктах навколишнього середовища. Необхідність доповнення даних, отриманих методом ВЕРХ, дослідженням флуоресцентних характеристик, можна аргументувати їх специфічністю для нафти і нафтопродуктів, що обумовлено складністю механізму флуоресценції. Як відомо, на вид одержуваних спектрів складних сумішей, до яких відносяться дані об'єкти, впливають як інші речовини, здатні флуоресціювати в досліджуваному діапазоні, так і компоненти, що не володіють даною властивістю. Тому комплексне використання методів флуоресцентної спектроскопії і ВЕРХ при дослідженні нафти і нафтопродуктів з метою вирішення завдань щодо ідентифікації дозволяє збільшити кількість одержуваної інформації, і, відповідно, достовірність результатів.

З метою всебічного дослідження структурного і фракційного складу нафтопродуктів застосовується системний підхід, що полягає в комбінуванні ефективних фізико-хімічних методів дослідження, таких як газова хроматографія – мас-спектрометрія, рідинна хроматографія з УФ-детектуванням та ін. [15].

### 3. Ціль та задачі дослідження

Ціллю даної роботи є попередня оцінка різних фізико-хімічних методів, придатних для виявлення поліциклічних ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі та продуктах його згоряння.

Для досягнення поставленої цілі вирішувались наступні задачі:

- визначити компонентний та фракційний склад дизельного палива різними фізико-хімічними методами;

- провести порівняльний аналіз сучасних методів дослідження складу нафтопродуктів, розробити системний підхід до аналізу нафтопродуктів з підвищенням надійності отриманих результатів.

### 4. Матеріали та методи дослідження ароматичних вуглеводнів дизельного палива

Для комплексного вивчення властивостей дизельних палив було проведено дослідження структур-

но-групового та гомологічного складу товарного дизельного палива із застосуванням рідинної колоночної хроматографії [16, 17], мас-спектрометрії [18, 19], ультрафіолетової спектроскопії [20] та газової хроматографії [21–24].

Розділення дизельного палива на фракції проводили на хроматографічній колонці (довжина – 1150 мм, внутрішній діаметр – 15 мм), заповненій силікагелем АСК (фракція 100 – 200 mesh) [7].

Мас-спектральний метод було реалізовано за допомогою мас-спектрометра LKB-2 091 (Швеція) з системою введення зразка через балон напуску. Іонне джерело і балон напуску витримували при температурі 250 °С, що в умовах глибокого вакууму  $10^{-6}$ – $10^{-7}$  мм. рт. ст. забезпечує повне випаровування фракцій палива з температурою кипіння до 360 °С. Ці умови забезпечують молекулярний напуск компонентів палива в іонне джерело через діафрагму 30 мкм таким чином, що парціальні тиски всіх компонентів в іонному джерелі прямо пропорційні парціальним тискам цих же компонентів в балоні напуску, що відповідає вимогам кількісного мас-спектрального аналізу.

Хроматографічний аналіз виконували на хроматографі А 5890 фірми Hewlett Packard із застосуванням кварцевої капілярної колонки НР-1 довжиною 25 м, внутрішнім діаметром 0,53 мм з метилсиліконом OV-101 в якості нерухомої фази. Умови аналізу: програмування температури від 50 °С до 280 °С зі швидкістю 7 °С/хв, детектор – полум'яно-іонізаційний.

Вміст ароматичних вуглеводнів в сумішевому дизельному паливі також визначали методом ультрафіолетової спектроскопії на спектрофотометрі СФ-26 (Росія) при характеристичних довжинах хвиль – 200, 222 і 255 нм.

### 5. Результати досліджень якісного та кількісного складу дизельного палива та їх обговорення

Дизельне паливо, як правило, готують на базі прямогонної фракції нафти 180–360 °С з можливим додаванням до 20 % легких газойлей каталітичного крекінгу і гідрокрекінгу. В Україні, за сучасною нормативною документацією, нафтопереробні підприємства можуть випускати наступні марки дизельного палива: літнє паливо марок Л-0,2-40, Л-0,5-40, Л-0,2-62, Л-0,5-62, Л-0,05-40, Л-0,1-40, Л-0,05-62, Л-0,1-62; зимнє паливо марок З-0,05-(-25), З-0,1-(-25), З-0,2-(-25), З-0,5-(-25).

Для оцінки фізико-хімічних властивостей дизельних палив та їх компаундів використовують ряд випробувань за ДСТУ 4840:2007 або EN 590.

У зв'язку з необхідністю проведення випробувань дизельного палива було вивчення його склад.

За допомогою рідинної колоночної хроматографії з дизельного палива було виділено чотири фракції: пентанову, гексанову, бензолну і спиртову. Використовуючи елюатропний ряд розчинників вдалося виявити, що парафіно-нафтені частини зосереджені в пентановій фракції, концентрат ароматичних вуглеводнів міститься в гексановій і в бензолній фракції, а спиртом вимиваються смоли (табл. 1).

Таким чином, сумарний вміст ароматичних вуглеводнів склав 21,4 %.

Таблиця 1

Розподіл вуглеводнів дизельного палива в елюатах рідинної колоночної хроматографії

Елюат	Вміст, % мас.
Парафіно-нафтенові вуглеводні	
Пентанова фракція	78,0
Ароматичні вуглеводні	
Гексанова фракція	14,1
Бензольна фракція	7,3
Смолисті речовини	
Спиртова фракція	0,6

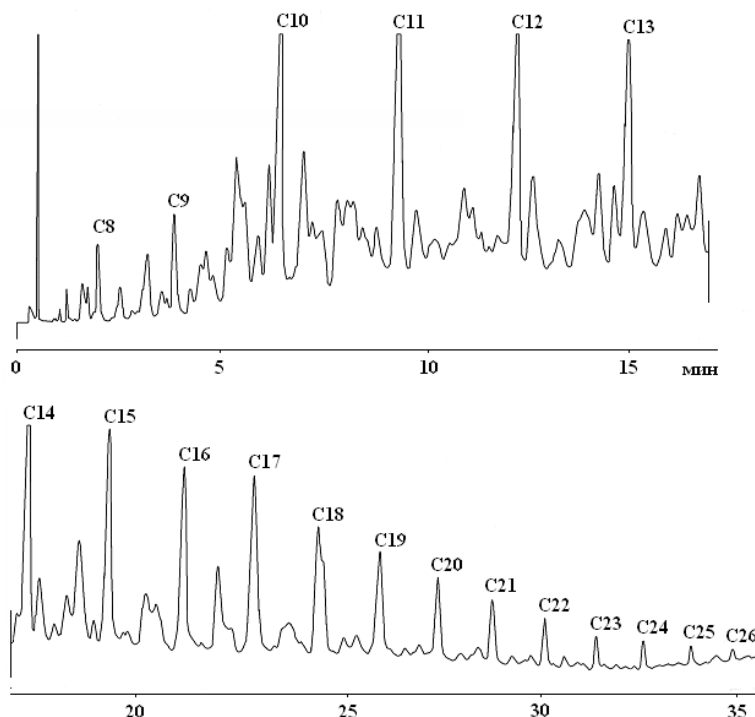


Рис. 1. Хроматограма дизельного палива

Мас-спектральний метод використовували як для аналізу проби дизельного палива, так і для аналізу концентратів, виділених рідинною хроматографією. При аналізі дизельного палива прямим мас-спектральним методом для визначення структурно-групового складу використовували матрицю C16 з переважним вмістом парафінів нормальної будови, а також додаткову матрицю для визначення окремо алкілбензолів, нафталінів і фенантренив. За даними мас-спектрального аналізу вміст парафінових вуглеводнів склав 45,7 (% мас); нафтенових 34,8, з них: моноциклічні – 20,1, біциклічні – 9,4, трициклічні – 3,9, тетрациклічні – 1,4; ароматичних – 19,4, з них: алкілбензоли – 16,1, нафталіни – 3,2, фенатрени – 0,2.

При визначенні складу концентратів, виділених за допомогою рідинної колоночної хроматографії, використовували матриці, які відповідають парафіно-нафтеновій та ароматичним фракціям. Результати досліджень наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати мас-спектрального визначення структурно-групового складу ароматичних концентратів дизельного палива

Типи вуглеводнів	Вміст			
	Гексанова фракція		Бензольна фракція	
	% відн.	% мас.	% відн.	% мас.
Алкілбензоли	60,0	8,46	12,6	0,92
Індани та тетраліни	27,5	3,88	0,6	0,05
Динафтенбензоли	6,7	0,94	8,8	0,64
Нафталіни	3,3	0,47	21,6	1,58
Аценафтени	–	–	28,5	2,08
Флуорени	–	–	14,7	1,07
Фенантрени	0,9	0,13	13,2	0,96
Нафтенфенантрени	1,6	0,23	–	–
Всього	100	14,10	100	7,3

При визначенні вмісту н-парафінових вуглеводнів та їх ізомерів результати мас-спектрального аналізу доповнювали газохроматографічними даними.

На хроматограмі сумішевого дизельного палива (рис. 1) спостерігаються піки компонентів гомологічного ряду нормальних вуглеводнів C<sub>8</sub>–C<sub>26</sub>, які чітко виділяються на фоні всіх хроматографічних піків за рахунок їх інтенсивності.

За допомогою комп'ютерної реєстрації хроматографічних даних визначається вміст кожного гомолога н-парафінів (% мас.)

Знаючи загальний вміст парафінів, визначених за даними мас-спектрального аналізу, і вміст н-парафінів (хроматографічний аналіз), шляхом віднімання визначили вміст парафінів нелінійної структури.

В ході лабораторних випробувань при визначенні сумарного вмісту ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі було також використано метод ультрафіолетової спектроскопії. За отриманими УФ-спектрами оцінювали вміст бензольних, нафталінових і фенантренових ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі. При достатньо високому розбавленні аналіта неполярним розчинником проявляється тонка структура вуглеводнів ряду бензолу та інших ароматичних вуглеводнів. Однак, це не перешкоджає визначенню кількісного вмісту ароматичних вуглеводнів в складних сумішах, зокрема, в дизельному паливі. На рис. 2 показано УФ-спектр досліджуваного дизельного палива, яке містить ароматичні вуглеводні.

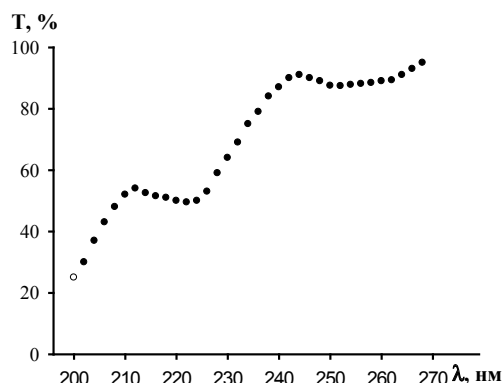


Рис. 2. УФ-спектр дизельного палива, яке містить ароматичні вуглеводні

Було визначено коефіцієнти молярної екстинкції при 200, 222 та 255 нм, які є необхідними для оцінки вмісту в дизельному паливі бензолних, нафтолінових і фенантронових ароматичних вуглеводнів. Методами математичної обробки даних було отримано рівняння лінійної регресії для кількісних визначень даних ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі. Результати розрахунків наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Результати УФ-спектроскопічного визначення групового складу ароматичних вуглеводнів дизельного палива

Вміст	% мас.
Бензолні вуглеводні	17,16
Нафталінові вуглеводні	6,45
Фенантронові вуглеводні	0,94
Усього ароматичних вуглеводнів	24,55

Як відомо, в дизельних паливах трициклічні ароматичні вуглеводні представлені в основному фенантроновими сполуками. Тому в розрахунках використовували середній молярний коефіцієнт поглинання, визначений з літературних даних. Для оцінки правильності кількісного визначення ароматичних вуглеводнів в дизельних паливах був проведений аналіз сумішей, які моделювали структуру груп бензола, метилнафталіна та фенантрена.

## 6. Обговорення результатів дослідження групового та фракційного складу дизельного палива

Для визначення групового складу палив використовували рідинну колоночну хроматографію. Цей метод дозволив поділити вуглеводні дизельного палива на насичено-олефінову, ароматичну та смолисту фракції, які в подальшому були досліджені методами газової хроматографії та мас-спектрометрії. При цьому були отримані попередні дані вмісту ароматичних вуглеводнів. Рідинна колоночна хроматографія є простим і доступним методом аналітичного контролю. Точність методу невисока, однак він дозволяє отримати уявлення про структурно-груповий склад досліджуваної проби. Таким чином, в результаті розділення дизельного палива методом рідинної колоночної хроматографії було встановлено, що вміст ароматичних вуглеводнів складає 21,4 % мас.

Індивідуальний мас-спектр такої складної суміші, як нафтопродукти має складний характер і є мало селективним. Він не дозволяє безпосередньо ідентифікувати груповий склад нафтових фракцій та нафтопродуктів, по-перше, через взаємні накладення мас-спектрів, а по-друге, через невизначеність аналітичних ознак, які є різними для різних компонентів системи. Груповий мас-спектр позбавлений цих недоліків і дозволяє задовільно визначити якісний і кіль-

кісний вміст гомологічних груп вуглеводнів. Для цього необхідно мати бази даних групових мас-спектрів для типічних систем. Мас-спектрометричним методом було досліджено безпосередньо зразок дизельного палива та фракції, які було отримано рідинною колоночною хроматографією. За результатами мас-спектрометричного аналізу вміст ароматичних вуглеводнів в дизельному паливі склав 19,5 % мас. А сумарний вміст ароматики у виділених фракціях – 21,4 % мас.

УФ-спектроскопічний метод використовувався безпосередньо для аналізу непідготовленого зразка дизельного палива. Вміст ароматичних вуглеводнів склав 24,6 % мас. Цей метод дуже перспективним для аналізу і контролю якості нафтопродуктів: його застосування з використанням портативних приборів, споряджених дифракційною решіткою дає можливість вести контроль за зміною складу в процесах переробки, визначати вміст аренів в окремих фракціях нафти, оцінювати якість нафтопродуктів, контролювати забруднення навколишнього середовища нафтопродуктами. На основі спектральних даних було отримано не тільки сумарний вміст аренів, а також масовий вміст бензолних, нафталінових і фенантронових вуглеводнів. Метод УФ-спектроскопії найбільш простий у виконанні та має найменшу тривалість аналізу.

В подальшому планується звернути увагу на комбіновані високоефективні та інформативні методи в дослідженні складу нафтопродуктів: рідинна хроматографія з УФ-детектуванням та газову хроматографію з мас-спектральним детектуванням. Застосування комбінованих методів дозволить уникнути методичних складнощ при аналізі складних сумішей.

## 7. Висновки

1. Був визначений структурно-груповий та фракційний склад зразка дизельного палива методами рідинної колоночної хроматографії, мас-спектрометрії, газової хроматографії та УФ-спектроскопії. Показано, що для рішення наукових і технічних задач, комплекс використовуваних методів дає задовільні результати.

2. Порівняно результати визначення сумарного вмісту ароматичних вуглеводнів в зразку дизельного палива, отриманих різними методами: рідинна колоночна хроматографія – 21,4 %, мас-спектроскопія – 19,5 %, УФ-спектроскопія – 24,6 %. Середні значення вмісту ароматичних вуглеводнів склали 21,9 %.

3. На прикладі дизельного палива показаний системний підхід при визначенні групового складу багатоконпонентних об'єктів досліджень. Комплекс використаних методів можна застосовувати для ідентифікації невідомих органічних сполук, вирішення ряду наукових, технічних і екологічних завдань, таких як якісний і кількісний аналіз товарних нафтопродуктів, моніторинг стану об'єктів природних середовищ.

## Література

- Набивач, В. М. Ароматические углеводороды в топливе. Экологические аспекты [Текст] / В. М. Набивач, В. А. Герасименко // Кокс и химия. – 1999. – № 4. – С. 31–32.
- Дмитриков, В. П. Анализ высококипящих продуктов переработки ископаемых топлив методом ВЭЖХ [Текст] / В. П. Дмитриков // Кокс и химия. – 2002. – № 4. – С. 26–30.



3. Guilloteau, A. Desorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Soot Surface: Pyrene and Fluoranthene [Text] / A. Guilloteau, Mai Lan Nguyen, Y. Bedjanian, G. Le Bras // Journal of Physical Chemistry A. – 2008. – Vol. 112, Issue 42. – P. 10552–10559. doi: 10.1021/jp803043s
4. Kwon, E. E. Mechanistic Understanding of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from the Thermal Degradation of Tires under Various Oxygen Concentration Atmospheres [Text] / E. E. Kwon, M. J. Castaldi // Environmental Science and Technology. – 2012. – Vol. 46, Issue 23. – P. 12921–12926. doi: 10.1021/es303852e
5. Wang, J. Inhalation Cancer Risk Associated with Exposure to Complex Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Mixtures in an Electronic Waste and Urban Area in South China [Text] / J. Wang, S. Chen, M. Tian, X. Zheng, L. Gonzales, T. Ohura et. al. // Environmental Science and Technology. – 2012. – Vol. 46, Issue 17. – P. 9745–9752. doi: 10.1021/es302272a
6. Eiguren-Fernandez, A. Size-Resolved Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emission Factors from On-Road Gasoline and Diesel Vehicles: Temperature Effect on the Nuclei-Mode [Text] / A. Eiguren-Fernandez, A. H. Miguel // Environmental Science and Technology. – 2012. – Vol. 46, Issue 5. – P. 2607–2615. doi: 10.1021/es2037004
7. Hafner, W. D. Influence of Local Human Population on Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentrations [Text] / W. D. Hafner, D. L. Carlson, R. A. Hites // Environmental Science and Technology. – 2005. – Vol. 39, Issue 19. – P. 7374–7379. doi: 10.1021/es0508673
8. Матвеев, С. Г. Влияние химического состава топлива на выброс бенз(а)пирена автомобилями [Текст] / С. Г. Матвеев, М. Ю. Орлов, И. В. Чечет // Вестник Самарского гос. аэрокосмического ун-та. – 2007. – № 2. – С. 134–136.
9. Zhong, Y. Immediate Consequences of Cigarette Smoking: Rapid Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Diol Epoxides [Text] / Y. Zhong, S. G. Carmella, P. Upadhyaya, J. B. Hochalter, D. Rauch, A. Oliver et. al. // Chemical Research in Toxicology. – 2011. – Vol. 24, Issue 2. – P. 246–252. doi: 10.1021/tx100345x
10. Кырова, С. А. Анализ уровня загрязнения приоритетными экотоксикантами в г. Абакане республики Хакасия [Текст] / С. А. Кырова, А. С. Ситников, С. В. Бордунов // Вестник Томского гос. пед. ун-та. – 2006. – № 6. – С. 83–86.
11. Баргулевич, Я. Методы определения ПАУ в объектах окружающей среды [Текст] / Я. Баргулевич, Г. Ягов // Питьевая вода. – 2001. – № 6. – С. 11–14.
12. Барам, Г. И. Развитие метода микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии и его применение для исследования объектов окружающей среды [Текст] / Г. И. Барам. – 100 лет хроматографии. – М.: Наука, 2003. – 740 с.
13. Черепица, С. В. Определение инспектируемых параметров дизельного топлива методом газовой хроматографии [Текст] / С. В. Черепица, С. М. Бычков, А. Н. Коваленко и др.; под ред. В. Г. Барышевского. – Фундаментальные и прикладные физические исследования, 2002–2009 гг. – Белорусский государственный университет, Институт ядерных проблем, 2009. – С. 392–401
14. Дементьев, Ф. А. Исследование ароматических углеводородов в качестве идентификационных признаков нефтяного загрязнения [Текст] / А. Л. Акимов, Ю. Н. Бельшина, Ф. А. Дементьев // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2011. – № 3. – С. 31–37.
15. Крылов, А. Определение полиароматических углеводородов методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии с изотопным разбавлением (ГХ/МС/ИР) [Текст] / А. Крылов, Е. Лопушанская и др. // Аналитика. – 2012. – № 3. – С. 6–16.
16. Отто, М. Современные методы аналитической химии. Т. 1 [Текст] / М. Отто. – М.: Техносфера, 2004. – 416 с.
17. Отто, М. Современные методы аналитической химии. Т. 2 [Текст] / М. Отто. – М.: Техносфера, 2004. – 288 с.
18. Стромберг, А. Г. Систематическое исследование элементарных моделей аналитических сигналов в виде пиков и волн [Текст] / А. Г. Стромберг, С. В. Романенко, Э. С. Романенко // Журнал анал. химии. – 2000. – Т. 55, № 7. – С. 687–697.
19. Лебедевская, В. Г. Спектрофотометрический метод определения группового состава ароматических углеводородов в дизельных топливах [Текст] / В. Г. Лебедевская, Т. А. Шмелева, З. Т. Юнусов // Заводская лаборатория (Диагностика материалов). – 2005. – Т. 71, № 2. – С. 59–62.
20. Хрипанкова, М. С. Характеристики методов определения качественного состава нефтепродуктов [Текст] / М. С. Хрипанкова, М. Г. Куликова // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5 (1). – С. 102–103.
21. Зенкевич, И. Г. Новые возможности совместной интерпретации масс-спектрометрических и хроматографических данных при идентификации органических соединений [Текст] / И. Г. Зенкевич // Масс-спектрометрия. – 2004. – Т. 1, № 1. – С. 45–52.
22. Егазьянц, С. В. Хроматографические методы анализа нефтепродуктов [Текст] / С. В. Егазьянц // Вестн. Моск. ун-та. Серия 2. Химия. – 2009. – Т. 50, № 2. – С. 75–99.
23. Астахов, А. Анализ нефтепродуктов с помощью хроматографических методов [Текст] / А. Астахов // Аналитика. – 2013. – № 3. – С. 48–52.
24. ASTM D2549–02(2012). Standard Test Method for Separation of Representative Aromatics Fractions and Nonaromatics Fractions of High-Boiling Oils by Elution Chromatography [Text]. – Annual Book of ASTM Standards. – 2012. – Vol. 05.01.